



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۱

صفحه‌های ۹۱۸-۹۰۳

DOI: 10.22059/jci.2021.321904.2535

مقاله پژوهشی:

مطالعه رفتار رشدی استویا تحت تأثیر الیسیتورهای زیستی و غیرزیستی در شرایط هیدروپونیک

مادح احمدی^۱، عظیم قاسم‌نژاد^{۲*}، منصور قربانپور^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲. دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳. استاد، گروه گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر برخی الیسیتورهای زیستی و غیرزیستی بر جنبه‌های مورفولوژیکی گیاه دارویی استویا در تیمار با آب شور، مطالعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار در شرایط گلخانه و کشت هیدروپونیک انجام شد. برای حصول اطمینان بیش‌تر، آزمایش برای بار دوم نیز تکرار شد. تیمارهای پژوهش حاضر شامل قارچ‌های اندوفیت جداسازی‌شده از سرخدار (در سه سطح شاهد، TB20، TB2-3)، تیمار محلول‌پاشی با ملاتونین (در سه سطح شاهد، نیم میکرومولار ملاتونین خالص و نیم میکرومولار عصاره *Thymus vulgaris*) و سه سطح شوری NaCl (بدون شوری، شوری متوسط ۸۰ میلی‌مولار و شوری زیاد ۱۵۰ میلی‌مولار آب آبیاری) بود. گیاهان آزمایشی از نقطه نظر صفات مورفولوژیکی موردبررسی قرار گرفتند. در هر دو آزمایش نتایج بیانگر اثر مثبت ملاتونین و اندوفیت بر بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه (یک تا دو برابر) تحت تنش شوری بود. با این وجود، در شرایط بدون شوری و کاربرد عصاره آویشن و قارچ اندوفیت TB20 بهترین نتیجه رشد مشاهده شد. اکثر صفات هم‌چون ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ در شرایط غیر شور و کاربرد آویشن و قارچ اندوفیت TB20 در بالاترین میزان خود قرار داشته و نسبت به نمونه شاهد افزایش تقریبی یک و نیم برابری داشتند. با توجه به اثرات مثبت ملاتونین و اندوفیت به‌ویژه TB20، پیشنهاد می‌شود که از عصاره گیاهان حاوی ملاتونین به‌عنوان تیمار حفاظتی در کشت استویا در شرایط شور استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: اندوفیت‌های قارچی، تنش‌های محیطی، سرخدار، گیاهان دارویی، محرک رشد.

Study on the Growth Behavior of Stevia Affected by Biotic and Abiotic Elicitors in Hydroponic Conditions

Madeh Ahmadi¹, Azim Ghasemnezhad^{2*}, Mansour Ghorbanpour³

1. Ph.D. Student, Department of Horticulture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Professor, Department of Medicinal plants, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran.

Received: July 7, 2021

Accepted: September 16, 2021

Abstract

In order to investigate the effect of some biotic and abiotic elicitors on yield and yield components of stevia plant under different salinity stress, the present study has been performed as a factorial experiment based on the randomized complete design with six replications. It has taken place in a greenhouse under hydroponic and conditions in two consequential experiments. Endophytic fungi isolated from yew (at three levels of control, TB20, TB2-3), foliar treatment with melatonin (at three levels of control, 0.5 μM melatonin tablets, and 0.5 μM Thymus vulgaris extract), and three salinity levels (without salinity, medium salinity 80mM, and high salinity 150mM) have incorporated the present experiments' treatments. The experimental plants have been investigated based on morphological parameters. In both experiments, results show a positive effect of melatonin and endophytic fungi on characteristics of plant growth's improvement (one to two times) under salinity stress. Nevertheless, the best growth conditions have been observed in low salinity levels, using thyme extract and TB20 endophytic fungus. Most traits of stevia plant in non-saline conditions along with thyme extract and endophytic fungus TB20 have been at their highest, showing an increase of approximately 1.5 folds, compared to the control. Due to the positive effects of melatonin and endophytes, especially TB20, it is recommended to use melatonin-containing plant extracts as a protective treatment in stevia cultivation in saline conditions.

Keywords: Endophytic fungi, environmental stresses, growth stimulant, medicinal plants, yew.

۱. مقدمه

استویا گیاهی علفی و چندساله از خانواده آستره است (Barroso *et al.*, 2016). امروزه، اهمیت جهانی استویا به دلیل وجود برگ‌های شیرین آن است که به طور سنتی در ژاپن، کره، چین و آمریکای جنوبی استفاده می‌شود. شیرینی استویا به دلیل وجود گلیکوزیدهای موجود در آن است این ترکیبات حلال در آب هستند و ۲۵۰ تا ۳۰۰ برابر شیرین‌تر از قند معمولی هستند (Ramesh *et al.*, 2015). از ویژگی‌های دیگر گیاه استویا حساس بودن به شوری آن است و دامنه محدود pH ۵/۶-۷ برای رشد آن ایده‌آل است (Ferrazzano *et al.*, 2015).

روش‌های مختلفی به منظور افزایش زیست‌توده و متابولیت‌های گیاهان دارویی در شرایط نامطلوب رشدی از جمله شوری کاربرد دارد که استفاده از الیسیتورها یکی از مهم‌ترین آنهاست. براساس تعریف، الیسیتور می‌تواند یک عامل زیستی و یا غیرزیستی باشد که به صورت مستقیم و غیرمستقیم سبب تحریک سیستم ایمنی گیاه و تولید متابولیت ثانویه می‌شود (Zhao *et al.*, 2005). تنش شوری در گیاه از عمده‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که سبب ایجاد آسیب‌های اسمزی، یونی و اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. شوری در محیط رشد گیاهان باعث برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای و به‌دنبال آن کاهش گسترش برگ و ریشه، کاهش توانایی گیاه در جذب آب از طریق فرایند اسمز و در مجموع کاهش رشد می‌شود که از واضح‌ترین پاسخ‌های گیاه در برابر تنش شوری است (Ahmadi *et al.*, 2016). (Tabatabaai *et al.*, 2014) صفات مورفولوژیکی نهال‌های داغداغان در شرایط آبیاری با آب شور را بررسی نمودند یافته‌ها بیانگر کاهش معنی‌داری صفات رویشی شامل تعداد برگ، سطح برگ، رویش قطری و ارتفاعی، نسبت به شاهد بود.

گیاهان جهت مقاومت در برابر تنش‌های وارده

مکانیسم‌های مختلفی مانند تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی و فعال‌کردن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی را در اختیار دارند (Namrudi *et al.*, 2014). ملاتونین از جمله ترکیبات مهم گیاهی و جانوری است که در فرایند زیستی گیاه نقش مهمی دارد (Marino & Hernandez, 2014). در گیاهان این ترکیب خط مقدم مقابله با تنش اکسیداتیو است و سایر آنتی‌اکسیدان‌ها به صورت پشتیبان بعد از ملاتونین وارد عمل می‌شوند و ملاتونین به دلیل طبیعت دوگانه (خاصیت آبدوستی و چربی دوستی) در بین تمامی آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، دارای بیش‌ترین توانایی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بوده هم‌چنین ملاتونین را به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی می‌دانند. در گیاهان ملاتونین در قسمت‌های مختلف وجود دارد (Arnao & Hernandez-Ruiz, 2018).

میکروارگانیزم‌های اندوفیت در بافت‌های زنده گیاه میزبان استقرار یافته و در دامنه وسیعی از روابط متقابل با گیاه از همزیستی تا شکل بیماری‌زا درگیر هستند (Waller *et al.*, 2005). همان‌گونه که مایکوریزها با اتصال به خاک سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و افزایش تخلخل خاک، تجزیه مواد آلی و نگهداری مواد غذایی در خاک می‌شوند (Ansari *et al.*, 2013)، اندوفیت‌ها نیز به شکل مستقیم و غیرمستقیم با مدیریت فرایندهای زیستی گیاه به‌ویژه متابولیسم متابولیت‌های ثانویه نقش حیاتی در بقای گیاه میزبان دارند. به‌عنوان مثال، اندوفیت‌ها سبب مقاومت به تنش‌های غیرزنده هم‌چون خشکی (Cheplick & Cho, 2003)، فلزات سنگین (Monneta *et al.*, 2001) و شوری (Waller *et al.*, 2005) می‌شوند. اندوفیت‌های گیاهی به‌ویژه انواع قارچی آن نقش مهمی در کنترل و کاهش آسیب ناشی از عوامل بیماری‌زا بر گیاه میزبان دارند (Kusari, 2008).

نشان داده شده است که اندوفیت‌ها در بیوستنز

۱.۲. مواد گیاهی

قلمه‌های ریشه‌دار شده استویا (*Stevia rebaudiana*) (Bertoni) از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه شد.

۲.۲. کشت و تلقیح قارچ‌های اندوفیت

به‌منظور بررسی قابلیت میزبانی استویا، قارچ‌های جداسازی‌شده از ریشه سرخ‌دار پس از خالص‌سازی و شناسایی در محیط Potato Dextrose Agar (PDA) در شرایط استریل در ارلن‌مایر کشت شدند. پس از تشکیل زیست‌توده کافی قارچ، محتویات ارلن‌مایر فیلتر شد تعیین غلظت اسپور در سوسپانسیون با استفاده از لام هموسیتمتر و میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۴۰ انجام شد (Drüge et al., 2007) و ریشه قلمه‌های تازه ریشه‌دار شده به مدت سه ساعت در میسلیم حاوی غلظت $10^7 \times 12$ اسپور در هر میلی‌لیتر تیمار شدند. سپس قلمه‌های ریشه‌دار شده در گلدان‌های سایز هفت حاوی کوکوپیت و پرلیت کشت شدند. گیاهان ریشه‌دار شده پس از انجام عمل تلقیح با قارچ‌های مورد نظر در گلخانه تا زمان برداشت نگهداری شدند.

۳.۲. تیمارهای مورد استفاده

در پژوهش حاضر از سه سطح شوری (شاهد یعنی بدون شوری، شوری متوسط ۸۰ میلی‌مولار و شوری زیاد ۱۵۰ میلی‌مولار) و سه سطح اندوفیت قارچی محرک رشد (TB20) و محرک متابولیت (TB2-3) به همراه شاهد (بدون قارچ اندوفیت) (Ghasemnezhad et al., 2020) هم‌چنین تیمار ملاتونین در سه سطح (شاهد بدون ملاتونین، ۰/۵ میکرومولار ملاتونین خالص و عصاره آویشن در غلظت ۰/۵ میکرومولار) استفاده شد. جهت تعیین سطوح مختلف شوری آب آبیاری از کلرید سدیم خالص شرکت شیمیایی مجللی (Mojajali CO, Iran)

متابولیت‌های ثانویه در گیاهان مؤثرند. هم‌چنین اندوفیت‌های گیاهی، به‌ویژه قارچ‌ها، در کنترل و کاهش آسیب‌های ناشی از عوامل بیماری‌زا به گیاهان میزبان نقش به‌سزایی دارند (Zaiyou et al., 2017). Serfling et al. (2007)، گزارش کردند که قارچ با جذب بیش‌تر مواد غذایی، تحمل گیاه به تنش آبی، دمایی و شوری را بهبود داده و هم‌چنین مقاومت سیستمیک را در گیاه القا نموده و سبب افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا، حشرات و فلزات سنگین می‌شود. به‌همین دلیل شناخت پتانسیل اندوفیت‌ها در مدیریت رشدی گیاهان در شرایط سخت دارای اهمیت است. آبیاری بیش از حد با آب شور و زهکشی نامناسب خاک سبب افزایش شوری خاک می‌شود. گیاهان دارویی جایگزین مناسبی برای کشت در شرایط سخت محسوب می‌شوند. از این‌رو مطالعه مراحل مختلف رشد گیاهان دارویی در شرایط تنش شوری اهمیت ویژه‌ای در مدیریت زراعی و کاهش آثار منفی تنش بر رشد و تولید گیاهی دارد. با این‌حال برخی از گیاهان دارویی از جمله استویا با وجود اهمیت زیاد، نسبت به شوری آب و خاک متحمل نیستند. بررسی حاضر با هدف بررسی اثر محرک‌های زیستی (قارچ‌های اندوفیت جداسازی‌شده از سرخ‌دار) و غیرزیستی (ملاتونین و تنش شوری) بر بهبود رشد استویا در شرایط شور طراحی و اجرا شده است.

۲. مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شش تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌صورت هیدروپونیک در شرایط گلخانه با شرایط دمایی ۲۵-۲۷ درجه سانتی‌گراد، وضعیت روشنایی ۱۶:۸ روز و شب و هم‌چنین رطوبت نسبی ۷۰ درصد انجام شد، برای اطمینان از اثر تیمارها آزمایش دو مرتبه انجام شده است.

نرم‌افزار SAS (نسخه ۹) انجام شده و مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل سطح معنی‌داری (LSD) انجام شد.

۳. نتایج و بحث

بررسی‌ها نشان داد که استویا قابلیت همزیستی با اندوفیت‌های مورد مطالعه را داشته و استفاده از تیمار ملاتونین اثرات مثبتی بر صفات مورفولوژیکی گیاه داشت. به‌طوری‌که برخی از شاخص‌های رشدی استویا در مقایسه با شاهد تغییرات مثبت و معنی‌داری داشت. وجود تفاوت معنی‌دار بین دو آزمایش را می‌توان به افزایش مقطعی دما در طول آزمایش اول مرتبط دانست. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر گیاه استویا در جدول (۱) آمده است.

همان‌گونه که در نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) آمده است، اغلب پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در دو آزمایش تحت تأثیر تیمارهای شوری و ملاتونین و قارچ‌های اندوفیت قرار داشتند. در آزمایش اول، تمام صفات اندازه‌گیری‌شده به‌غیر از وزن ویژه برگ که تحت تأثیر سطح شوری قرار نداشت، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده تیمارها قرار گرفتند. این در حالی است که در آزمایش دوم این صفت تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارها قرار نداشت. اثر متقابل شوری و ملاتونین در اغلب پارامترها به‌غیر از تعداد شاخه فرعی معنی‌دار بود. این در حالی است که اثر متقابل تیمار شوری و ملاتونین بر پارامترهای کلروفیل و وزن ویژه برگ در آزمایش دوم تفاوت معنی‌دار ایجاد نکرد (جدول ۱). همچنین در هر دو آزمایش اغلب صفات اندازه‌گیری‌شده تحت تأثیر اثر متقابل شوری و اندوفیت قرار داشتند. با این وجود، تعداد شاخه فرعی و وزن ویژه برگ در هر دو آزمایش تحت تأثیر اثر مذکور قرار نداشت و ارتفاع و تعداد برگ نیز در آزمایش دوم اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۱).

اثر متقابل ملاتونین و اندوفیت بر ارتفاع، کلروفیل و وزن

استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد که آویشن از منابع گیاهی غنی از ملاتونین است (Stege et al., 2010). ملاتونین خالص از قرص‌های حاوی ملاتونین به روش پیشنهادی Veerendra et al. (2016) تهیه شد. برای تهیه عصاره ملاتونین و آویشن از حلال متانول ۷۰ درصد به نسبت ۱:۱۰ حلال و ماده خشک استفاده شد (Zhao et al., 2012).

غلظت‌های مختلف ملاتونین و آویشن به‌صورت محلول‌پاشی با هدف افزایش مقاومت به شوری در سه نوبت و هر نوبت به فاصله یک هفته انجام شد. اولین محلول‌پاشی در یک هفته بعد از کاشت و اطمینان از استقرار گیاه انجام شد. سطوح شوری مدنظر با تیمار هم‌زمان شوری و محلول غذایی هوگلند اعمال می‌شده است. قبل از اعمال تیمار، سطح شوری با ای‌سی‌متر اندازه‌گیری شده و هم‌چنین بعد از اعمال تیمار میزان شوری پس‌اب هر گل‌دان نیز اندازه‌گیری می‌شد. به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک و با توجه به سطح شوری پس‌اب تیمار گیاهان با آب آبیاری انجام شد.

۲. ۴. استقرار گیاهان

گیاهان در گل‌دان‌های با ارتفاع ۱۵ و قطر دهانه ۲۰ حاوی مخلوطی از کوکوپیت و پرلیت کشت شده و در طول دوره رشد با محلول هوگلند (شرکت سبزینه مارال) تغذیه شدند. گیاهان پس از تشکیل زیست‌توده کافی و قبل از ظهور گل از نقطه‌نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی از جمله عملکرد پیکر رویشی، عملکرد برگ، ارتفاع، طول و عرض برگ، قطر ساقه اصلی و فرعی، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، کلروفیل برگ (با دستگاه SPAD) و سطح ویژه برگ (نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ) در زمان اولیه شروع گلدهی مورد بررسی قرار گرفتند.

۲. ۵. آنالیز داده‌ها

آنالیز داده‌ها بعد از اطمینان از نرمال‌بودن دیتاها با استفاده از

تیمارها بیشترین ارتفاع گیاه استویا در تیمارهای شاهد شوری و قارچ با عصاره آویشن (۵۰ سانتی‌متر) و هم‌چنین کم‌ترین (۲۵-۲۰ سانتی‌متر) میزان ارتفاع در تیمارهای بالاترین سطح شوری و شاهد قارچ با شاهد ملاتونین مشاهده شد (شکل ۱- چپ).

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی گیاهان است (Setayeshmehr & Esmaeilzadeh, 2013). این موضوع به‌ویژه در تولید گیاهان دارویی در مناطق خشک از اهمیت بیشتری برخوردار است (Ganjali et al., 2017). شوری با اثرگذاری یونی به‌ویژه بازدارندگی یون سدیم و نیز کم‌کردن فشار اسمزی تأثیر منفی در رشد و تقسیم سلول‌های مریستمی گذاشته و سبب کاهش رشد رویشی می‌شود (Demir Kaya et al., 2006). در گیاه مرزه نشان داده شد که شوری رشد طولی مرزه تحت تأثیر شوری کاهش یافت. به‌طوری‌که با افزایش شوری تا ۶ میلی‌موس بر سانتی‌متر کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد در رشد طولی گیاهان آزمایشی مشاهده شد (Fanaiee & Nejatizadeh, 2017). نتایج مشابهی نیز در گیاه ذرت گزارش شده است (Omrani & Moharramnejad, 2018).

تر برگ در هر دو آزمایش معنی‌دار بود (جدول ۱). در مقابل وزن ویژه برگ تحت تأثیر اثر متقابل فوق‌الذکر نداشت (جدول ۱). هم‌چنین ملاتونین و اندوفیت بر تعداد شاخه فرعی و وزن خشک برگ در آزمایش اول و هم‌چنین تعداد برگ در آزمایش دوم تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). اثر متقابل سه‌گانه تیمارها در هر دو آزمایش بر میزان کلروفیل گیاه استویا معنی‌دار بود. با وجودی‌که در آزمایش دوم تفاوت معنی‌داری در تعداد شاخه فرعی و وزن ویژه برگ مشاهده نشد، با این‌حال ارتفاع بوته و تعداد برگ در آزمایش دوم تحت تأثیر اثرات سه‌گانه قرار نگرفت. هم‌چنین در آزمایش اول وزن خشک برگ تحت تأثیر این اثرات سه‌گانه قرار نداشت (جدول ۱).

تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه در آزمایش اول بیشترین تأثیرگذاری مثبت بر ارتفاع در تیمار سطح شاهد شوری (غیر شور) به‌همراه عصاره آویشن و قارچ TB20 مشاهده شد (۵۸ سانتی‌متر) هم‌چنین در تیمار بالاترین سطح شوری به‌همراه شاهد‌های ملاتونین و قارچ کم‌ترین ارتفاع به‌دست آمد (۲۰ سانتی‌متر) (شکل ۱- راست). در آزمایش دوم نیز باتوجه به اثر مقایسه میانگین دوگانه

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ، کلروفیل، وزن تر و خشک برگ و وزن ویژه برگ گیاه استویا به‌ترتیب در آزمایش اول و دوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع		تعداد شاخه فرعی		تعداد برگ	
		آزمایش اول	آزمایش دوم	آزمایش اول	آزمایش دوم	آزمایش اول	آزمایش دوم
آزمایش	۱	۴۴۸/۳**		۴/۸۳**		۷۰۱۴/۵**	
شوری	۲	۱۶۵۶/۰۴**	۲۱۴۹/۶**	۱۱/۴۹**	۴/۵**	۲۶۰۱۱**	۲۰۱۶۰/۸**
ملاتونین	۲	۸۲۸/۰۴**	۷۶۱/۳**	۲/۴۲**	۱/۴**	۱۸۸۱/۹**	۷۷۸/۷**
اندوفیت	۲	۸۹۵/۲۶**	۹۱۴/۱**	۴/۱۶**	۱/۶**	۴۳۲۰/۰۳**	۴۰۵۰/۴**
شوری × ملاتونین	۴	۲۴/۸۵**	۲۶/۷**	۰/۱۸ns	۰/۱ ns	۱۱۸/۰۹**	۲۲۷/۸*
شوری × اندوفیت	۴	۷/۱۹*	۹/۸ns	۰/۳۶ns	۰/۱ ns	۲۴۸/۱**	۷۰/۹ ns
ملاتونین × اندوفیت	۴	۵۶/۵۷**	۲۷/۲**	۰/۱۲ns	۱/۲**	۲۳۳/۶**	۹۱/۱ ns
شوری × ملاتونین × اندوفیت	۸	۳/۳۱*	۳/۲ns	۰/۴۷ns	۰/۴ ns	۹۵/۶**	۹۱/۳ ns
خطا		۲/۳۱	۴/۷	۰/۲۳	۰/۲۴	۵۵/۳	۶۶/۹۱
ضریب تغییرات		۴/۱۶	۶/۵	۱۳/۷	۱۶/۵	۱۲/۲	۱۳/۰۳

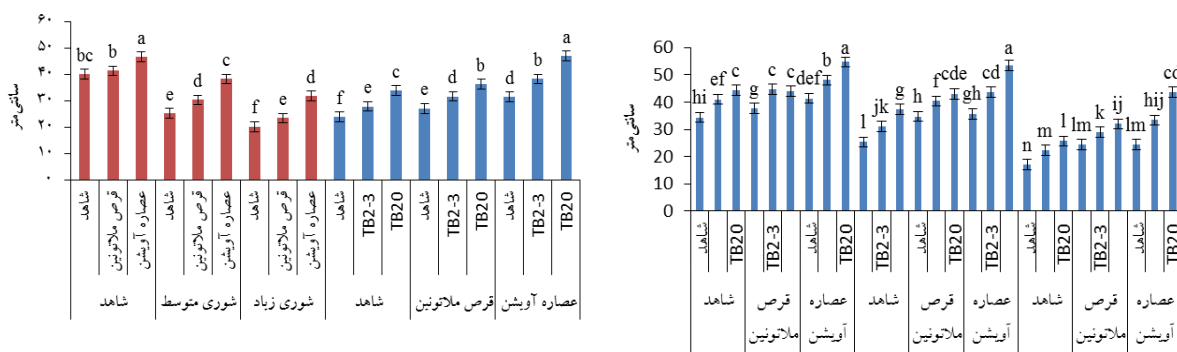
**، * و ns معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اثر معنی‌دار.

ادامه جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ، کلروفیل، وزن تر و خشک برگ و وزن ویژه

برگ گیاه استویا به ترتیب در آزمایش اول و دوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل (SPAD)		وزن تر برگ		وزن خشک برگ		وزن ویژه برگ	
		آزمایش اول	آزمایش دوم	آزمایش اول	آزمایش دوم	آزمایش اول	آزمایش دوم	آزمایش اول	آزمایش دوم
آزمایش	۱	۲۳۷/۱**		۱۸۱۳/۳**		۱۰۴۵/۶**		۱۱/۰۳ns	
شوری	۲	۲۰۲/۱**	۲۴۱۶/۶۴**	۸۷۳۴/۹۰**	۶۸۰۹/۱**	۱۶۴۵/۳۵**	۱۲۸۶**	۴/۴۸**	۱۵/۲۷ns
ملاتونین	۲	۱۸۱/۸**	۱۳۹/۷۹**	۴۲۸/۷۹**	۱۱۰۸/۳**	۲۰۳/۸۴**	۲۶۶/۲**	۰/۳۵ns	۱۸/۹ns
اندوفیت	۲	۳۵۶/۸**	۱۹۲/۰۱**	۲۲۳۱/۷۹**	۲۴۶۷/۴**	۴۴۵/۴۲**	۶۶۵/۳**	۰/۱۹ns	۲۳/۳ ns
شوری × ملاتونین	۴	۵/۷ns	۴۵/۲۲**	۱۸/۸۵**	۳۶/۵*	۴۱/۳۳*	۴۵/۶**	۱/۵۸*	۱۸/۱ ns
شوری × اندوفیت	۴	۷/۱**	۱/۲۷**	۷/۲۳**	۲۱/۹**	۱۷/۳۵*	۵۴/۸**	۱/۱۹ns	۱۹/۹۷ ns
ملاتونین × اندوفیت	۴	۱۷/۷**	۷/۸۶**	۹/۸۵*	۴۶/۹*	۲۹/۷۷ns	۳۴/۵**	۰/۱۱ns	۱۷/۲۵ns
شوری × ملاتونین × اندوفیت	۸	۱۶/۳**	۱۱/۵۱**	۷/۷۱*	۱۱/۸ ns	۸/۷۰ns	۹/۶ ns	۰/۴۲ns	۱۴/۵۱ ns
خطا		۳/۴۹	۱/۶۲	۳/۰۱	۱۲/۷	۱۲/۲۷	۵/۰۹	۰/۵۳	۰/۱۳
ضریب تغییرات		۵/۸۴	۳/۶۹	۲/۷۹	۶/۴۶	۱۲/۷۱	۱۰/۰۳	۱۷/۲۷	۱۱/۰۱

ns، *، ** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بدون اثر معنی‌دار.



شکل ۱. اثر متقابل سه گانه تیمارها در آزمایش اول بر میزان ارتفاع گیاه استویا (راست)، اثر متقابل دو گانه تیمارهای مختلف بر ارتفاع در آزمایش دوم (چپ)

شوری با اثرگذاری یونی به‌ویژه با گذراندگی یون سدیم و نیز کم‌کردن فشار اسمزی تأثیر منفی در رشد و تقسیم سلول‌های مریستمی گذاشته و این باعث کاهش رشد رویشی می‌شود (Demir Kaya *et al.*, 2006).

تلقیح با قارچ میکوریز سبب افزایش ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی شده که ممکن است دلیل آن جذب کافی آب و عناصر غذایی توسط هیف‌های قارچی اطراف ریشه باشد (Alkaraki & Hamnad, 2001).

تغییرات تنش شوری بر پتانسیل اسمزی سبب برهم‌زدن تعادل آب گیاه، کاهش تورژسانس سلول و جلوگیری از رشد نهایی گیاه می‌شود (Ashraf, 2009).

Shahverdi *et al.* (2019) گزارش کردند که ارتفاع گیاه استویا تحت شرایط تنش شوری کاهش یافت. به‌طوری‌که در تیمار شاهد بیش‌ترین و در بالاترین سطح شوری کم‌ترین ارتفاع مشاهده شد که این نتایج با نتایج سایر پژوهش‌گران نیز همخوانی داشت (Ahmadi *et al.*,)

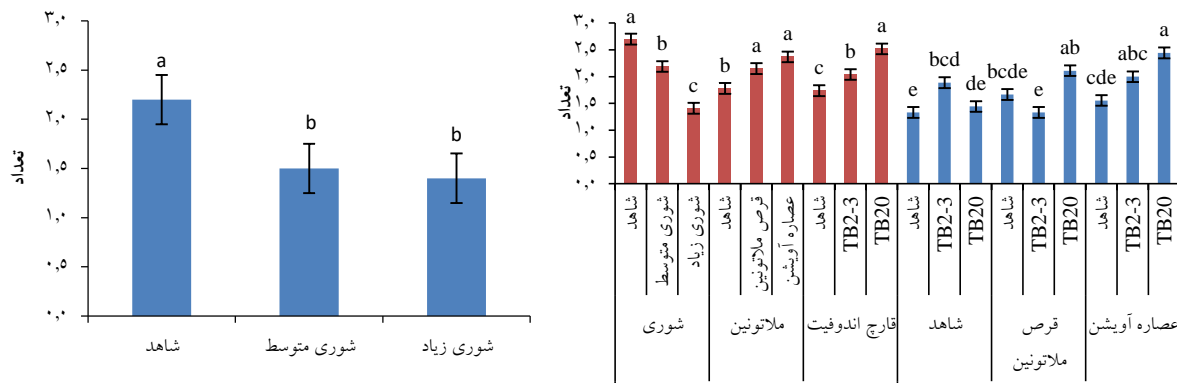
شاهد) در بیش‌ترین مقدار بود (شکل ۲- راست). علاوه بر این، بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی در آزمایش دوم تحت تأثیر تیمار عصاره آویشن با قارچ اندوفیت TB20 مشاهده شد. اگرچه با ملاتونین خالص و اندوفیت TB20 اختلاف معنی‌داری نشان نداد و کم‌ترین تعداد شاخه فرعی هم مربوط به شاهد دو تیمار است و نسبت تغییرات همانند با آزمایش اول که بیان شد است (شکل ۲- راست). این در حالی است که بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی در آزمایش دوم در بین سطوح شوری به‌کاربرده شده در تیمار شاهد شوری و بدون تفاوت معنی‌دار در سطوح دیگر شوری مشاهده شد (شکل ۲- چپ).

بیش‌ترین (۱۲۰) و کم‌ترین (۳۰) تعداد برگ نیز به‌ترتیب در تیمارهای بدون شوری همراه با عصاره آویشن و قارچ TB20 و تیمار بدون شوری همراه با شاهد‌های ملاتونین و قارچ اندوفیت مشاهده شد (شکل ۳). Harris (2004) گزارش کرد که، تنش شوری تعداد برگ در گیاهان را کاهش می‌دهد. تلفیق اثرهای تنش اسمزی با اثر سمیت یونی و تغییر میزان غلظت عناصر غذایی حاصل از نمک موجود در خاک سبب کاهش رشد رویشی اندام‌های هوایی به‌ویژه تعداد برگ می‌شود (Harris, 2004; Demir Kaya et al., 2006). در یک بررسی Fanaiee & Nejatizadeh (2017) گزارش کردند که تنش شوری تعداد برگ در گیاه مرزه را کاهش داد. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد برگ در گیاه مرزه تحت تیمار شوری سطح ۲ میلی‌موس بر سانتی‌متر و کم‌ترین آن در شوری ۶ میلی‌موس بر سانتی‌متر مشاهده شد و با افزایش سطح شوری از تعداد برگ به‌شدت کاسته شد. اثرات تنش شوری نمک سدیم کلرید در چهار غلظت بر سه گونه اکالیپتوس نشان داد که افزایش شوری موجب کاهش صفات قطر، ارتفاع، طول ریشه، تعداد برگ، سطح کل برگ، وزن خشک برگ و ساقه می‌شود (Tavakkolinia et al., 2012).

(2006) نیز در گزارش خود افزایش ارتفاع و تعداد شاخه جانبی را ناشی از حضور مایکوریزا بیان کردند. Dolatabadi & Mohammadi Goltapeh (2010) گزارش کردند که نعنای فلفلی و آویشن تلقیح‌شده با قارچ‌های اندوفیت *Piriformosporaindica* و *sebacina* دارای ارتفاع و رشد بهتری نسبت به شاهد بودند و هم‌چنین از نظر تعداد گره در نعنای فلفلی و تعداد شاخه در آویشن افزایش معنی‌داری را نشان داد.

بیان شد که در شرایط عادی استفاده از تیمار ملاتونین موجب تحریک رشد ریشه در گیاهان اتیوله (*Brassicajuncea*) شد (Chen et al., 2012). هم‌چنین، در پژوهشی دیگر ملاتونین باعث تحریک ریشه‌زایی در ریزنمونه‌های گیاه گیلان شده است که در نتیجه آن افزایش رشد گیاه گزارش شد (Sarropoulou et al., 2012). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی استفاده زیادی برای تنظیم رشد گیاهان و تحمل آن‌ها به تنش‌ها دارند همان‌گونه که گزارش‌های زیادی در رابطه با اثر ملاتونین خارجی بر میزان مقاومت به شوری در گیاهان مختلف مورد تأیید است Li et al. (2012) گزارش کردند که پیش تیمار ملاتونین کاهش اثر مهارکنندگی بر رشد گیاهان در برابر تنش شوری دارد که این تأثیرات می‌تواند به‌دلیل تأخیر در تخریب کلروفیل‌ها، حفظ راندامان فتوسنتزی بالا و کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری در گیاه *Malus hupehensis* باشد. با بررسی که روی تأثیر ملاتونین در دانه‌های تربچه انجام شد نتایج چشم‌گیری به‌دست آمد و رشد ریشه و زیست‌توده دانه‌های تحت تنش شوری را افزایش داد و باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری شد (Zhang et al., 2015).

در بررسی حاضر و در آزمایش اول تعداد شاخه فرعی گیاهان آزمایشی آبیاری‌شده با آب غیر شور (یک تا دو برابر با بالاترین سطح شوری)، تیمار شده با ملاتونین، عصاره آویشن و قارچ اندوفیت TB20 (یک تا دو برابر نسبت به



شکل ۲. اثر متقابل دو گانه تیمارهای مختلف بر تعداد شاخه فرعی در دو آزمایش (راست)، اثر شوری بر تعداد شاخه فرعی استویا در آزمایش دوم (چپ)

به دلیل کاهش کلروفیل سبزینه کم‌تری داشتند. به طوری که این مقدار کاهش تقریباً ۲/۵ برابر نسبت به بهترین تیمار بهینه کم‌تر بود (شکل ۴).

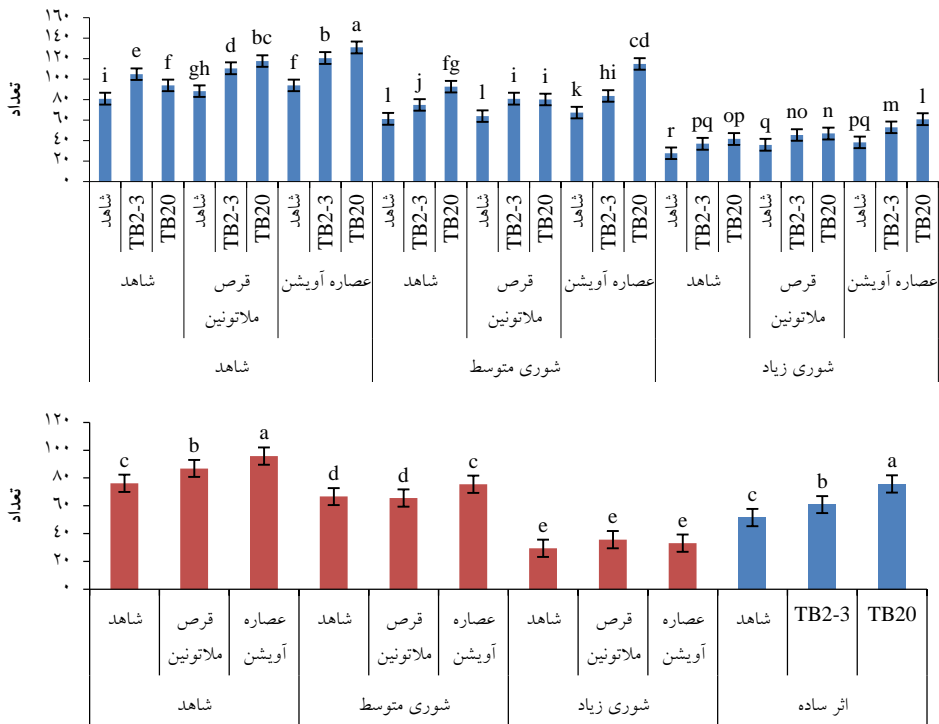
شوری از طریق افزایش تراکم یون‌های سدیم و کلر سبب کاهش جذب عناصر ضروری از جمله پتاسیم، کلسیم، آمونیوم و نیتروژن شده و هم‌چنین فعالیت آنزیم‌ها را کاهش می‌دهد. هم‌چنین ساختار غشا تحت تأثیر شوری تغییر یافته و هم‌چنین کاهش فعالیت‌های متابولیکی گیاه از طریق کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه را سبب می‌شود (Ashraf, 2009).

در گزارشی بیان شد قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* به‌عنوان اندوفیت محرک رشد و بالابرنده میزان مقاومت اکثر گیاهان به تنش‌های محیطی است (Sharma & Shahzad, 2015). این قارچ اندوفیت در گوجه‌فرنگی باعث بهبود در صفات مورفولوژیک و رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Ghorbani et al., 2016). بیش‌ترین میزان کلروفیل برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه استویا در تیمارهای ورمی‌کمپوست ۲۰ درصد و تلقیح با قارچ مایکوریزای *Glomus mosseae* گزارش شد (Zare et al., 2015).

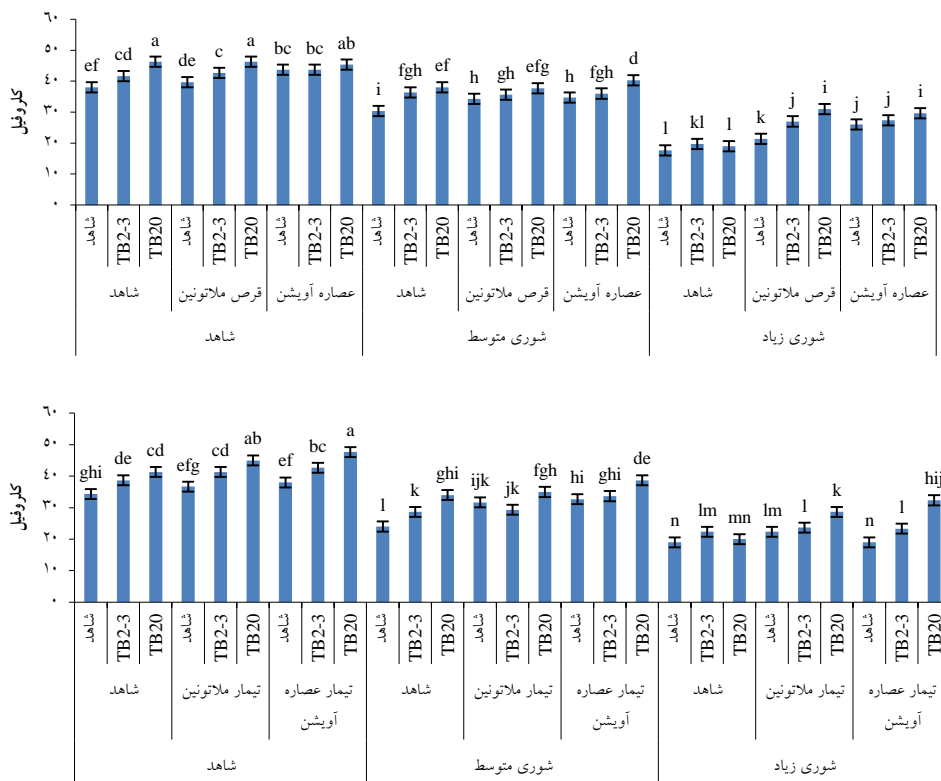
Mohammadi et al. (2021) در بررسی‌های خود گزارش کردند که صفات مورفولوژی به‌شدت تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفته است و صفاتی هم‌چون تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ، سطح ویژه برگ با افزایش شوری روند کاهشی داشتند. در یک بررسی نشان داده شد که تلقیح قارچ‌های اندوفیت باعث افزایش معنی‌داری در اکثر صفات از جمله ارتفاع و اندازه قطر ساقه در گوجه‌فرنگی در مقایسه با شاهد شد (Venkateshwar et al., 2002). قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار اثر معنی‌دار بر پارامترهای رویشی گیاه شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی، طول میانگره، تعداد برگ، عملکرد و وزن خشک ریشه نعنای فلفلی داشت (Mahmoudzadeh et al., 2015).

تفاوت در میزان کلروفیل تحت تأثیر اثرات متقابل شوری و ملاتونین و قارچ‌های اندوفیت در هر دو آزمایش، بیانگر نقش تأثیرگذار شوری، ملاتونین و اندوفیت بر تجمع کلروفیل است. بیش‌ترین میزان تجمع کلروفیل (۵۰ میلی‌گرم درگرم) در شرایط غیر شور و در گیاهان تیمار شده با شوری به‌همراه ملاتونین (ملاتونین خالص و عصاره آویشن) و قارچ TB20 مشاهده شد. این درحالی است که در گیاهان تیمار شده با شوری بالا و بدون استفاده از ملاتونین و قارچ

مطالعه رفتار رشدی استویا تحت تأثیر اسیستورهای زیستی و غیرزیستی در شرایط هیدروپونیک



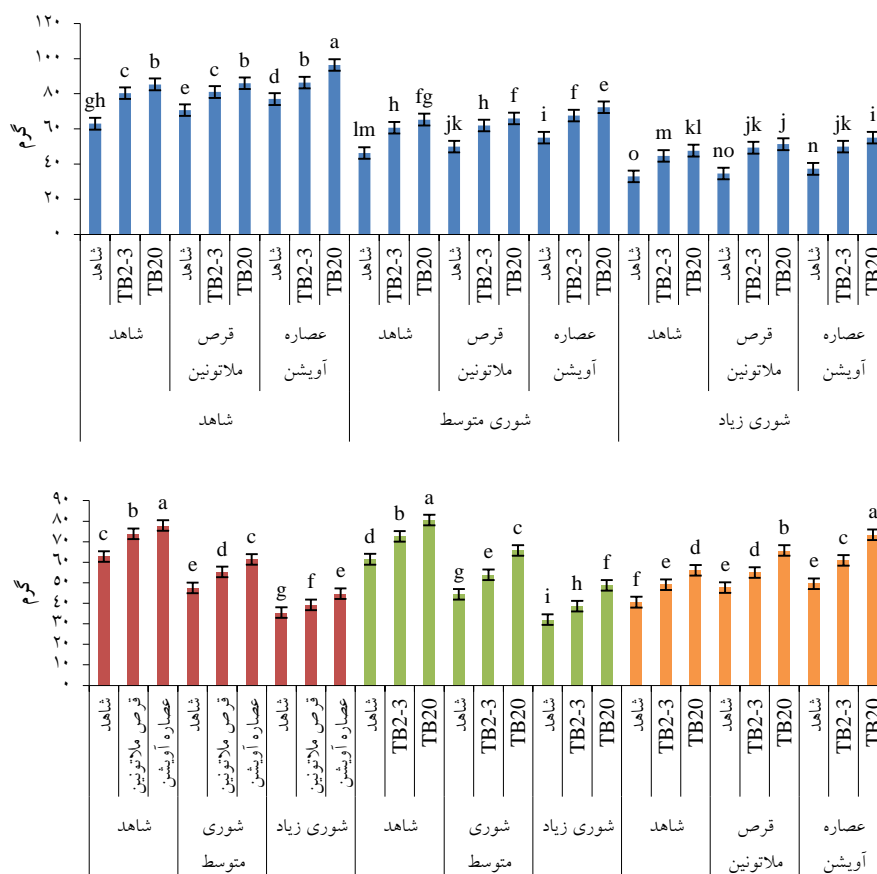
شکل ۳. اثر متقابل سه گانه تیمارها بر تعداد برگ در آزمایش اول (بالا)، اثرات ساده و متقابل دوگانه تیمارها بر تعداد برگ (پایین)



شکل ۴. اثر متقابل سه گانه تیمارها بر کلروفیل در آزمایش اول (بالا)، اثر متقابل سه گانه تیمارها بر کلروفیل در آزمایش دوم (پایین)

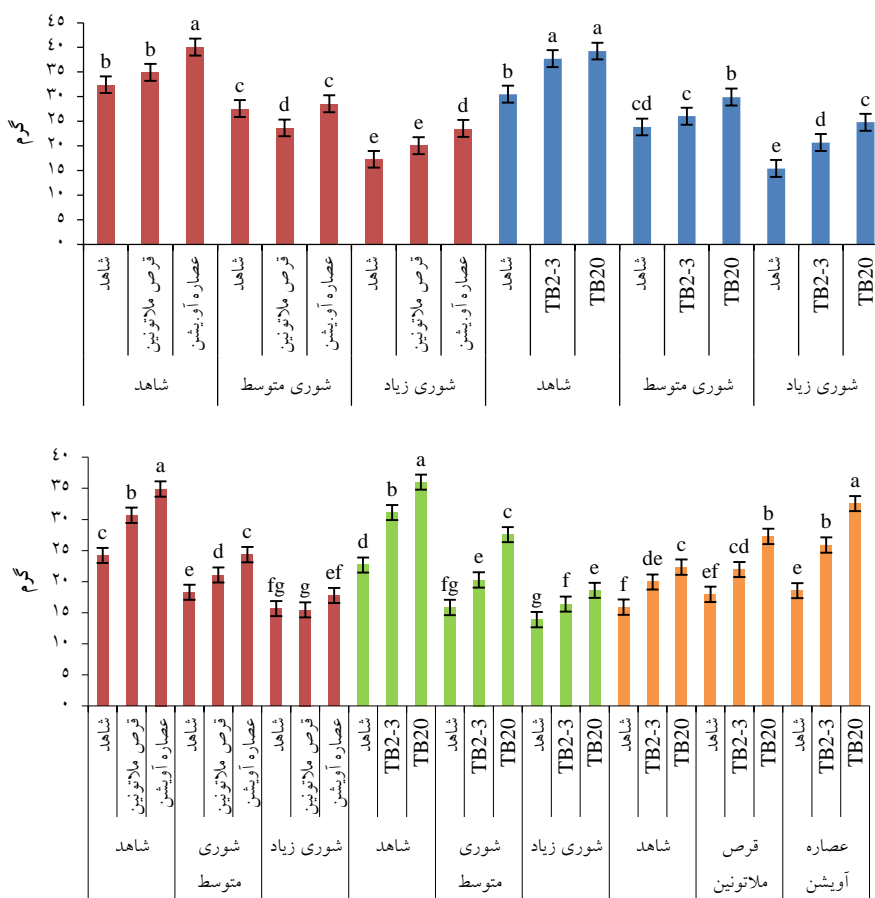
بوته) تحت شرایط غیر شور (بدون شوری) و هم‌زمان با اعمال تیمار عصاره آویشن به‌عنوان منبع ملاتونین حاصل شد (شکل ۶- بالا). هم‌چنین در اثرات متقابل شوری و قارچ اندوفیت نیز بیش‌ترین وزن خشک برگ (۱/۶ برابر بیش‌تر) در شرایط غیر شور (بدون شوری) و قارچ TB20 بدون تفاوت معنی‌دار با قارچ TB2-3 مشاهده شد (شکل ۶- بالا). در مقابل در گیاهانی که در بالاترین سطح شوری رشد یافتند و هیچ‌گونه تیمار حمایتی دریافت نکردند، کم‌ترین میزان وزن خشک (۱/۵ برابری) به ثبت رسید. در آزمایش دوم نیز با توجه به شکل‌های اثرات متقابل دوگانه نتایج مشابهی به‌دست آمد (شکل ۶- پایین).

تحت تأثیر اثرات متقابل سه‌گانه بیش‌ترین وزن تر برگ (۹۵-۱۰۵ گرم) در تیمار بدون شوری به‌همراه عصاره آویشن و قارچ TB20 مشاهده شد. در مقابل کم‌ترین وزن تر (۳۰-۴۰ گرم) در بالاترین سطح شوری بدون ملاتونین و قارچ اندوفیت مشاهده شد (شکل ۵- بالا). هم‌چنین بیش‌ترین مقدار وزن تر برگ (۷۸-۸۵ گرم) در تیمار بدون شوری توأم با استفاده عصاره آویشن، آب آبیاری بدون شوری و قارچ اندوفیت TB20 و تیمار ترکیبی عصاره آویشن و TB20 (شکل ۵- پایین) مشاهده شد. در آزمایش اول تحت تأثیر اثر متقابل شوری و ملاتونین بالاترین میزان وزن خشک برگ (۴۰ گرم در



شکل ۵. اثر متقابل سه‌گانه تیمارها بر وزن تر برگ در آزمایش اول (بالا)، اثر متقابل دوگانه تیمارهای مختلف بر میزان وزن تر برگ در آزمایش (پایین)

مطالعه رفتار رشدی استویا تحت تأثیر اسیستورهای زیستی و غیرزیستی در شرایط هیدروپونیک



شکل ۶. اثر متقابل دوگانه تیمارها بر میزان وزن خشک برگ در آزمایش اول (بالا)، اثر متقابل تیمارها بر میزان وزن خشک برگ در آزمایش دوم (پایین)

رنگیزه‌های فتوسنتزی و تغییر در فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌های رشدی گیاهان باشد.

در پژوهش پژوهش‌گران دیگر نیز استفاده از قارچ *P. indica* باعث افزایش میزان زیست‌توده برگ، وزن تر و خشک میوه گوجه‌فرنگی تحت شرایط کشت هیدروپونیک افزایش داد (Fakhro *et al.*, 2010). هم‌چنین در بررسی‌های انجام‌شده توسط Ghasemnezhad & Babaeizad (2011) و Rahimi Tanha *et al.* (2014) بر کنگرفرنگی نتایج مشابهی گزارش شد. در بررسی‌های قبلی پژوهش‌گران مشخص شد که تأثیرگذاری میکوریزا به دلیل در اختیار گذاشتن بیش‌تر میزان فسفر، منگنز و آهن در اندام

گزارش شد که با افزایش تنش شوری میزان وزن خشک و ارتفاع گیاهچه ذرت کاهش معنی‌داری را نشان داد (Jiang *et al.*, 2016). تنش شوری در تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن سلول‌ها اختلال ایجاد کرده و واکنش‌های متابولیکی گیاه را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. هم‌چنین در پژوهشی نشان داده شد که تنش شوری اثر معنی‌داری بر وزن تر و خشک برگ در استویا داشت، به‌گونه‌ای که در تیمار شاهد بیش‌ترین و در بالاترین سطح شوری کم‌ترین وزن تر و خشک برگ را مشاهده شد (Shahverdi *et al.*, 2019). آن‌ها بیان داشتند که تغییرات مشاهده‌شده ممکن است به دلیل اثر منفی شوری بر

آزمایشی قرار داشت (جدول ۱). با توجه به شکل (۷)، بیش‌ترین وزن ویژه برگ در سطح شوری بالا و تحت تأثیر تیمار حمایتی ملاتونین به ثبت رسید. به‌طوری‌که با افزایش سطح شوری استفاده از تیمارهای حاوی ملاتونین (عصاره آویشن و قرص ملاتونین) سبب افزایش وزن ویژه برگ شد. این در حالی است که کم‌ترین میزان وزن ویژه برگ در تیمار قرص حاوی ملاتونین در سطح شوری متوسط مشاهده شد.

کاهش رشد در اکثر بافت‌های گیاهی به‌ویژه سطح ویژه برگ در پژوهش‌های زیادی از جمله Damani (2018)، Shafaghzard (2018) به اثبات رسیده است. تنش شوری سبب کاهش ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک برگ، کلروفیل در گیاه استویا شد (Shahverdi et al., 2019). بررسی و گزارش اثرهای شوری بر فرایندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی کار بسیار سخت و پیچیده‌ای است چرا که گیاهان براساس ژنوتیپ و مرحله رشدی که دارند پاسخ‌های متفاوتی ممکن است در برابر تنش شوری داشته باشند است (Murugu et al., 2004).

هوایی گیاه دارویی هم‌چون آویشن باغی می‌باشد که این تغییرات موجب افزایش تعداد شاخه و برگ، وزن تر و خشک برگ، شاخص سطح برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی این گیاه شده است (Dolatabadi et al., 2012). قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار اثر معنی‌دار بر پارامترهای رویشی گیاه شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی، طول میانگره، تعداد برگ، عملکرد و وزن خشک ریشه نعنای فلفلی داشت (Mahmoudzadeh et al., 2015).

هم‌چنین گزارش شد که تیمار ملاتونین بر طول شاخه و سطح برگ گیاه اثر معنی‌دار نداشت و در واقع غلظت بالای ملاتونین سبب کاهش سطح برگ گیاه شد (Zhang et al., 2015). از طرفی دیگر نیز افزایش وزن تر و خشک گیاهان تحت تیمار شوری با ملاتونین را گزارش کردند؛ به گفته این پژوهش‌گران تیمار ملاتونین باعث افزایش ضخامت برگ و قطر ساقه دانه‌های تریچه می‌شود. افزایش سطح برگ و ارتفاع گیاه در بذره‌های سویا پوشش داده‌شده با ملاتونین گزارش شده است (Wei et al., 2015). صفت وزن ویژه برگ تحت تأثیر تیمارهای



شکل ۷. اثر متقابل شوری و ملاتونین بر وزن ویژه برگ در آزمایش اول

بازدارنده‌های رشد استویا در شرایط شور را متعادل نمود. نتایج کلی به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که تلقیح استویا با قارچ‌های اندوفیت نه‌نهای اثرات مثبت و افزایشی را بر گیاه اعمال می‌کند بلکه اثرات منفی و کاهش تنش شوری را نیز متعادل کرده و سرعت روند کاهشی آن را کند می‌کند. هم‌چنین قارچ‌های هم‌زیست جداسازی‌شده از گیاه سرخدار از طریق افزایش جذب عناصر معدنی به‌طور خاص عناصر با تحرک کم مانند فسفر، روی و مس (داده‌های ارائه‌نشده) سبب افزایش زیست‌توده ریشه و ساقه و بهبود رشد گیاه می‌شوند. اگرچه براساس نتایج حاصله بهترین شرایط رشد گیاه استویا در شرایط غیر شور (شاهد) حاصل شد و استفاده از عصاره آویشن و قارچ اندوفیت TB20 سبب بهبود قابل‌توجهی در پارامترهای رشدی استویا شد، اما به‌دلیل نقش متعادل‌کننده رشدی که تیمارهای استفاده‌شده در در شرایط شور داشتند، پیشنهاد می‌شود که از تیمارهای پژوهش حاضر برای کشت گیاه استویا در شرایط شوری استفاده شود.

۵. تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌منظور تأمین بخشی از هزینه‌های پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی در خصوص مقاله حاضر وجود ندارد.

۷. منابع

Ahmadi, A., Bayat, H., & Tavakolinekoo, H. (2016). Morphophysiological responses of *Populus euphratica* Oliv. To salinity stress in greenhouse conditions. *Iranian Journal Forest and Poplar Research*, 25(1), 127-136. (In Persian)

Martin & Stutz (2004) نشان دادند که تلقیح گیاه فلفل با دو گونه از قارچ میکوریز بر پارامترهای رشدی گیاه مؤثر بوده و از طریق تحریک در بیوسنتز هورمون‌های رشد نظیر هورمون اکسین سبب تحریک در رشد گیاهان می‌شود در این حالت قارچ از طریق افزایش تولید ریشه گیاه میزبان در بلندمدت باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی شده که در نهایت افزایش رشد رویشی و عملکرد را به‌دنبال دارد. در حالت دوم اندوفیت در نقش ایلوسیپتور زنده باعث تحریک بیوسنتز متابولیت‌های درگیر در سیستم دفاعی گیاه شده و از این طریق تجمع متابولیتی را افزایش می‌دهد. حالت سوم که تقریباً نادر و کم‌تر گزارش شده است، اندوفیت‌های یک گیاه می‌تواند در گیاهان دیگر سبب ایجاد بیماری شود.

Gao *et al.* (2019) بیان کردند که تیمار ملاتونین به‌طور قابل‌توجهی مانع از کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تنش شوری می‌شود. آن‌ها بیان داشتند که ملاتونین برونزا عملکرد کوانتومی فتوشیمی فتوسیستم II را در گیاهان بدون تنش افزایش می‌دهد مطابق با این یافته‌ها، تیمار ملاتونین اثرات مضر شوری را کاهش می‌دهد. استفاده از تکنیک‌های مختلف به‌زراعی به‌ویژه در گیاهان حساس به شوری جهت افزایش تحمل به شوری از ضروریات است. بررسی حاضر نشان داد که مصرف ملاتونین چه به‌صورت خالص و چه به شکل عصاره‌های گیاهی حاوی این ترکیب سبب بهبود واکنش گیاه حساس به شوری استویا شده است.

۸. نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر بیانگر اثر مثبت ملاتونین و اندوفیت بر بهبود خصوصیات رشد گیاه استویا در شرایط شور است. با وجودی که شوری اثرات نامطلوبی بر صفات موردبررسی داشت، اما تیمارهای استفاده‌شده شیب کاهش

- Ahmadi, M., Ghasemnezhad, A., Sadeghi Mahoonak, A., & Rezaie Asl, A. (2016). Effect of magnetized and saline water on the biomass yield of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). *Advances in Bioresearch*, 7(1), 158-166.
- Alkaraki, G.N., & Hamnad, R. (2001). Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 1311-1323.
- Ansari, M. W., Kumar Trivedi, D., Kumar Sahoo, R., Singh Gill, S., & Tuteja, N. (2013). A critical review on fungi mediated plant responses with special emphasis to *Piriformospora indica* on improved production and protection of crops. *Plant Physiology and Biochemistry*, 70, 403-410.
- Arnao, M.B., & Hernandez-Ruiz, J. (2018). Melatonin and its relationship to plant hormones. *Ann. Bot.*, 121, 195-207.
- Ashraf, M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advance*, 27, 84-93.
- Barroso, M., Barros, L., Angelo Rodrigues, M., Joao Sousa, M., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. (2016). *Stevia rebaudiana* Bertoni cultivated in Portugal: A prospective study of its antioxidant potential in different conservation conditions. *Industrial Crops and Products*, 90, 49-55.
- Chen, Q., Qi, W. B., Reiter, R. J., Wei, W., & Bao, M. W. (2009). Exogenously applied melatonin stimulates root growth and raises endogenous indoleacetic acid in roots of etiolated seedlings of *Brassica juncea*. *Journal of Plant Physiology*, 166, 324-328.
- Cheplick, G., & Cho, R. (2003). Interactive effects of fungal endophyte infection and host genotype on growth and storage in *Lolium perenne*. *New phytologist*, 158(1), 183-19
- Damani, Z. (2018). Effects of salinity and drought stress on growth parameters and ecophysiology of seedlings *Ceratonia siliqua* L. Master Thesis, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, College of Agriculture, Department of Horticultural Sciences. 86-98. (In Persian)
- Demir Kaya, M., Atak, M., Çikili, Y., & Kolsarici, O. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 291-295.
- Dolatabadi, H., & Mohammadi Goltapeh, E. (2010). In vivo biological activity of *Piriformospora indica*, *Sebacina vermifera* and *Trichoderma* spp. against fusarium wilt of lentil. *Plant Protection Journal*, 2(6), 127-143. (in Persian)
- Dolatabadi, H., Mohammadi Goltapeh, E., Moieni, A., & Varma, A. (2012). Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. *Journal of Biotechnology*, 11(7), 1644-1650.
- Drüge, U., Baltruschat, H., & Franken, P. (2007). *Piriformospora indica* promotes adventitious root formation in cuttings. *Scientia Horticulturae*, 112, 422-426.
- Fakhro, A., Andrade-Linares, D.R., von Bargen, S., Bandte, M., Buttner, C., Grosch, R., Schwarz, D., & Franken, P. (2010). Impact of *Piriformospora indica* on tomato growth and on interaction with fungal and viral pathogens. *Mycorrhiza*, 20, 191-200.
- Fanaiee, S., & Nejatizadeh, F. (2017). Assessment of seed priming effect in adjustment of salinity stress insatureja sahendica. *New Cellular & Molecular Biotechnology Journal*, 7(28), 41-47. (in Persian)
- Ferrazzano, G.F., Cantile, T., Alcidi, B., Coda, M., Ingenito, A., Zarrelli, A., Di Fabio, G., & Pollio, A. (2015). Is *stevia rebaudiana* Bertoni a non cariogenic sweetener? A Review. *Molecules*, pp. 21-38.
- Ganjali, A.R., Ajorlo, M., & Khaksafidi, A. (2017). The effect of drought and salinity stress on seed germination of (*Alyssum homalocarpum*). *Journal of Crop Breeding*, 9(21), 139-146. (in Persian)
- Gao, W., Feng, Z., Bai, Q., He, J., & Wang, Y. (2019). Melatonin-mediated regulation of growth and antioxidant capacity in salt-tolerant naked oat under salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 1176.
- Ghasemnezhad A., & Babaeizad, V. (2011). The influence of piri fungus (*Piriformospora indica*) on vegetative growth and the content of caffeic acid of leaves of artichoke (*Cynara scolymus* L.) plant. *Journal of Agricultural Sciences And Natural Resources*, 18(1), 133-140. (in Persian)
- Ghasemnezhad, A., Ahmadi, M., & Frouzy, A. (2020). Effect of some Yew endophytes on vegetative growth and phytochemical variation of *Stevia rebaudiana* B. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*. Vol. 3 (Special Issue: Abiotic and Biotic Stresses In Horticultural Crops), 11-28.
- Ghorbani, A., Razavi, S.M., Ghasemi, O., Pirdashti, H., & Ramezani, M. (2016). Effect of endophyte fungal symbiosis of *Piriformospora indica* on morphological character and photosynthesis pigments in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *New Cellular & Molecular Biotechnology Journal*, 6(24), 57- 63. (in Persian)

- Harris, D. (2004). On-farm seed priming reduces risk and increases yield in tropical crops. *Seed Science Research*, 23, 17-26.
- Jiang, C., Cui, Q., Feng, K., Xu, D., Li, C., & Zheng, Q. (2016). Melatonin improves antioxidant capacity and ion homeostasis and enhances salt tolerance in maize seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 82, 1-9.
- Kusari, S. (2008). An endophytic fungus from *Hypericum perforatum* that produces hypericin. *Journal of Natural Products*, 71, 159-162.
- Li, C., Wang, P., Wei, Z.W., Liang, D., Liu, C.H., Yin, L.H., Jia, D.F., Fu, M.Y., & Ma, F.W. (2012). The mitigation effects of exogenous melatonin on salinity-induced stress in *Malus hupehensis*. *Journal of Pineal Research*, 53, 298-306.
- Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadeghiani, M.H., Hassani, A., & Brin, M. (2015). The effect of inoculation of mycorrhizal fungi (AMF) species on the growth and active ingredients of peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Horticultural Science*, 29(3), 342-348. (in Persian)
- Marino, B., & Hernandez, A. (2014). Melatonin: plant growth regulator and or biostimulator during stress. *Trends in Plant Science*, 19(12), 789-97.
- Martin, C.A., & Stutz, J.C. (2004). Interactive effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *Capsicum annuum* L. *Mycorrhiza*, 4, 241-244.
- Mohammadi, H., Payamnoor, V., Nazari, J., & Atashi, S. (2021). Effect of salinity stress and Herban mineral fertilizer on the morphological traits of seedling of chinaberry tree (*Melia azedarach* L.). *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 28(1), 21-36. (In Persian)
- Monneta, F., Vaillanta, N., & Hitmia, A. (2001). Endophytic neotuphodium lolii induced tolerance to zn stress in *Lolium perrene*. *Physiologia plantarum*, 11, 557-563.
- Murugu, F.S., Chiduzza, C., Nyamugafata, P., Clark, L.J., Whalley, W.R., & Finch-Savage, W. (2004). Effects of on-farm seed priming on consecutive daily sowing occasions on the emergence and growth of maize in semi-arid Zimbabwe. *Field Crops Research*, 33, 1-7.
- Namrudi, M., Sarani, M., Raofi, M.M., & Hashemi, S.M. (2014). The effect of salinity stress on proline content, photosystem II and germination in crop plants. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3(9), 998-1001.
- Omrani, B., & Moharramnejad, S. (2018). Study of salinity tolerance in four maize (*Zea mays*l) hybrids at seedling stage. *Journal of Crop Breeding*, 9(24). (in Persian)
- Rahimi Tanha, S., Ghasemnezhad, A., & Babaeizad V. (2014). A study on the effect of endophyte fungus, *Piriformospora indica*, on the yield and phytochemical changes of globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves under water stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(6), 1907-1921.
- Ramesh, K., Singh, V., & Megeji, N.W. (2015). Cultivation of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni]: A comprehensive review. *Advances in Agronomy*, 89, 137-177.
- Saleh, M., & Al-Garni, S. (2006). Increased heavy metal tolerance of cowpea plant by dual inoculation of an arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixer *Rhizobium bacterium*. *African Journal of Biotechnol*, 5(2), 133-42.
- Sarropoulou, V.N., Therios, I.N., & Dimassi-Theriou, K.N. (2012). Melatonin promotes adventitious root regeneration in in vitro shoot tip explants of the commercial sweet cherry rootstocks CAB-6P (*Prunus cerasus* L.), Gisela 6 (*P. cerasus*×*P. canescens*), and MxM 60 (*P. avium*×*P. mahaleb*). *Journal of Pineal Research*, 52, 38-46.
- Serfling, A., Wirsal, S.G., Lind, V., & Deising, H.B. (2007). Performance of the biocontrol fungus *Piriformospora indica* on wheat under greenhouse and field conditions. *Phytopathology*, 97, 523-531.
- Setayeshmehr, Z., & Esmaeilzadeh, S. (2013). Effect of salt stress on some phenological and biochemical characteristics in *Coriandrum sativum* L. *Journal of Plant Production*, 20(3), 111-126.
- Shafaghzard, Z. (2018). Investigation some characteristics of root and shoot of chickpea cultivars under salinity stress. Master Thesis. University of Tabriz, College of Agriculture, Department Plant ecophysiology. 127p. (in Persian)
- Shahverdi, M.A., Omid, H., & Tabatabaei, S.J. (2019). Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) responses to NaCl stress: Growth, photosynthetic pigments, diterpene glycosides and ion content in root and shoot. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 355-360.
- Sharma, Sh., & Shahzad, A. (2015). High frequency clonal multiplication of *Stevia rebaudiana* Bertoni, sweetener of the future. *Journal of Functional and Environmental Botany*, 1(1), 70-76.
- Stege, P.W., Sombra, L.L., Messina, G., Martinez, L.D., & Silva, M.F. (2010). Determination of melatonin in wine and plant extracts by capillary electrochromatography with immobilized carboxylic multi-walled carbon nanotubes as stationary phase. *Electrophoresis*, 31, 2242-2248.

- Tabatabaie, A., Jalilvand, H., & Ahani, H. (2014). Morphological response of *Celtis -caucasica* wild seedlings to salinity stress in the nursery. *Journal of Dry Canvas*, 4(2), 54-65 (In Persian)
- Tan, D. X.-C. (2007). Phyto-mediative capacity of plants enriched with melatonin. *Plant Signaling & Behavior*, 2, 514-516.
- Tavakkolinia, A., Osareh, M.H., Shariat, A., & Bakhshikhanigi, Gh. (2012). Effect of salinity stress on morphological and physiological parameters of three eucalyptus species. *Journal of Genetic Research and Breeding of Range and Forest Plants of Iran*, 24(1), 42-53. (In Persian)
- Veerendra, C., Ravindra, G., Kavita, D., Patil, S., & Shitalkumar, S. (2016). Development of spectrophotometric method and validation for melatonin in tablet dosage form. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5(6), 1440-1451.
- Venkateshwar, R.G., Manoharachary, C., & Rajeswara, R.B. (2002). Beneficial influence of arbuscular mycorrhizal fungal association on growth, yield and nutrient uptake of rose scented geranium (*Pelargonium Species*). *Philippine Journal of Science*, 131(1), 49-5.
- Waller, F., Baltruschat, H., Achatz, B., Becker, K., Fischer, M., Fodor, J., Heier, T., Huckelhoven, R., & Neumann, C. (2005). The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 13386-13391.
- Zaiyou, J., Li, M., & Xiqiao, H. (2017). An endophytic fungus efficiently producing paclitaxel isolated from *Taxus wallichiana* var. *mairei*. *Medicine (Baltimore)*, 96(27), e7406.
- Zare Hoseini, R., Mohammadi Goltapeh, E., Kalatejari, S., & Dehghani Mashkani, M.R. (2015). Effect of vermicompost and fungi inoculation on growth characteristics and steviosid content of *Stevia rebaudiana* Bert. *Journal of Medicinal Plants*, 14(56), 179-188. (in Persian)
- Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S.H., & Guo, Y.D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 66, 647-56.
- Zhao, J., Davis, L.C., & Verpoorte, R. (2005). Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 23(4), 283-333.
- Zhao, Y., Tan, D., Lei, Q., Chen, H., Wang, L., Li, Q., Gao, Y., & Kong, J. (2012). Melatonin and its potential biological functions in the fruits of sweet cherry. *Journal of Pineal Research*, 55, 79-88.